

Doğru Akım Özdirenç Verilerinin İki-Boyutlu Ters Çözümü ile Yeraltı Suyu Araştırması; Abant/Bolu Örneği

*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 02.04.2024

Kabul/Accepted: 03.07.2024

Yayımlandı/Published: 01.10.2024

Groundwater Investigation by Two-Dimensional Inversion of Direct Current Resistivity Data; A Case Study from Abant/Bolu

Özcan ÖZYILDIRIM^{1*} , Can BAŞARAN² 

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Jeotermal ve Maden Kaynakları Araştırma Merkezi Müdürlüğü, Afyonkarahisar, Türkiye

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Öz

Bu çalışmada Bolu Abant sahasındaki bir tatil köyünün su ihtiyacının giderilmesi amacıyla doğru akım özdirenç çalışması yapılmıştır. Çalışmanın gerçekleştirilmesinden önce bölgede mevcut olan sondaj litolojileri ve jeolojik bilgiler kullanılarak sahanın kavramsal modeli oluşturulmuştur. Kavramsal model üzerinde modelleme çalışması yapılarak, saha çalışması öncesinde hangi veri toplama geometrisinde hedeflenen model bileşenlerinin çözümünde daha başarılı olacağı belirlenmiştir. Pol-dipol elektrot dizilimleri kullanılarak, ikisi mevcut sondajlarla kesişen, altı profilde doğru akım özdirenç verileri toplanmıştır. Verilerin iki boyutlu ters çözümü gerçekleştirilerek, özdirenç kesitleri elde edilmiştir. Sondajların kesiştiği iki profildeki özdirenç kesitleri referans alınarak sahada en uygun konumda sondaj yeri önerisi yapılmış ve ihtiyacı karşılayacak yeraltı suyuna ulaşılmıştır. Sonuçların başarısı ortamın jeolojisine göre yöntemin belirlenmesi ve seçilen yöntemin kavramsal model üzerinde denenmesine dayanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Abant, Hidrojeoloji, Doğru Akım, Özdirenç, Yeraltı Suyu, Ters Çözüm

Abstract

In this study, a direct current resistivity study was carried out to solve the potable water needs of a holiday resort in the Bolu Abant field. Before carrying out the study, a conceptual model of the field was created based on the drilling lithology and geological information available in the region. By carrying out a modeling study on the conceptual model before the survey, it was determined which data acquisition geometry would be more successful in the resolution of the component of the models. Direct current resistivity data were collected in six directions using pole-dipole electrode arrays, two of which intersect the existing drillings. By performing two-dimensional inversions of the data, resistivity sections were obtained. Taking as a reference the intersection of two profiles, a drilling location was recommended, and drilling obtained water. The success of the results relied on the determination of the method according to the geology of the environment and testing the proposed method over a conceptual model.

Keywords: Abant, Hydrogeology, Direct Current, Resistivity, Groundwater, Inversion.

1. Giriş

İklim değişikliğinin bir sonucu olarak içilebilir su sıkıntısı dünyada son 20 yıldır oldukça artmaya başlamıştır. Gelecek son 50 yılda ise kuraklığın getireceği sonuçlar ve dünyanın hem tarım hem de içecek temiz/tatlı su bulmakta sıkıntı çekeceği açıktır. Dünyada Tatlı su kaynaklarının büyük bir kısmını buzullar ve sürekli karlar oluşturmaktadır (Gelişi ve Babacan, 2021). Diğer tatlı su kaynakları ise yüzey suları olup miktarları oldukça azdır. Ülkemizin kişi başı yıllık su miktarı 1313 m³ olup, bu miktar 1000 m³'ün altına düştüğünde ülkemiz su kıtlığı çeken ülkeler sınıfına girecektir (İnt. Kyn. 1). 2022 yılında ülkemizdeki tatlı su kaynaklarından çekilen su miktarı 8.3 milyar m³ olup bu miktarın 4.24 milyar m³'ü yeraltı sularından, 4.06 milyar m³ lük bölümü ise yüzey sularından elde edilmiştir (TUİK, 2023). Yüzey sularının kirlilik ve buharlaşma gibi çevresel etkenlere daha açık olması, gün geçtikçe artan su ihtiyacı gibi nedenler yeraltı

sularına olan ihtiyacında artmasına neden olmaktadır. Yer altı su araştırması için öncelikle sahanın genel jeolojisinin ve hidrojeolojisinin iyi bilinmesi gereklidir. Bu sayede suyun tespitine yönelik hangi çalışmaların yapılacağına karar verilmektedir. Aramalarda doğru yöntemin seçilmesi, sonucun başarısını etkileyen en önemli etmenlerdendir.

Yeraltını oluşturan jeolojik birimlerin gözeneklilik, geçirgenlik, kil içeriği ve suya doygunluk gibi özelliklerinin farklı oluşu bu jeolojik birimlerin farklı özdirenç değerleri ile tanımlanabilmesine neden olur. Özellikle boşluk biçimi ve bunları dolduran akışkan özellikleri (sıcaklık, tuzluluk, kirlilik vb.) birimlerin özdirenç değişiminde etkili olur. Bu yüzden elektrik ve elektromanyetik yöntemler temiz ve kirlenmiş yeraltı sularının doğrudan haritalanması ve izlenmesinde daha başarılı sonuçlar vermektedir (Fitterman and Stewart 1986, Buselli and Lu 2001, Hautot et al. 2002, Siemon et al. 2009, Riwayat 2018, Nazifi ve

Gülen 2019). Ülkemizde yeraltı suyu araması genellikle elektrik yöntemlerden doğru akım özdirenç (DAÖ) yöntemi kullanılmaktadır. DAÖ verileri, düşey elektrik sondajı (DES) veya sondaj-profil ölçü alım teknikleri ile ölçülmekte ve ters çözüm yazılımları ile yeraltının bir boyutlu (1-B) veya iki boyutlu (2-B) özdirenç modelleri elde edilmektedir (Bozkurt ve Kurtuluş 2016, Gelişli ve Babacan 2021, Yılmaz ve Yıldırım 2021, Ertekin and Ulugergerli 2022).

Uygulamada DES verileri değerlendirilirken yeraltının 1-B (tabakalı) olduğu varsayımı ile ters çözümü yapılır. Su içeren birimin jeolojisine bağlı olarak çevre kayalara göre daha iletken veya yalıtkan olmasından yararlanılarak hangi derinlikte su içeren birime ulaşabileceği öngörülmeye çalışılır (Hazell et al. 1988, Wurmstich and Morgan 1994, Hamzah et al. 2007, Coker 2012, Yeşil, 2014, Yüksel ve Hoşkan 2019 Manu et al. 2019). Fakat DES verilerinin 1-B ters çözümde yeryüzü topoğrafyası ve jeolojik birimlerin karmaşık yapısı göz önünde bulundurulduğunda sayısal hatalardan dolayı gerçek modellere uzak yeraltı modellerinin elde edilmesi olasıdır. Bu hataların önüne geçebilmek için belirlenen bir hat boyunca ölçülen DES verilerinin topoğrafya bilgisi de hesaba katılarak 2-B ters çözümü yapılmaktadır (Ertekin and Ulugergerli 2022). Ayrıca, çok elektrotlu çok kanallı özdirenç cihazlarının gelişimine paralel olarak sondaj-profil ölçü alım tekniği ile DAÖ verilerinin ters çözümü için 2-B ve 3-B algoritmalar geliştirilmiştir (Loke vd. 2003, Gündoğdu ve Candansayar 2018, Özyıldırım vd. 2020). Böylece yeraltının özdirenç dağılımı 2-B veya 3-B olarak daha gerçekçi yorumlanabilmektedir.

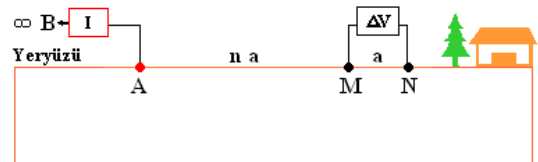
Bu çalışmada Batı Karadeniz Bölgesinde yer alan Bolu ili Abant Bölgesi, Ömerler Köyü yakınlarında su ihtiyacı olan bir tatil köyü için jeoloji ve DAÖ çalışması gerçekleştirilmiştir. Öncelikle var olan sondaj bilgilerinden hareketle sahanın kavramsal modeli oluşturulmuştur. Kavramsal modelden düz çözüm ile pole-dipol elektrot dizilimi ve iki farklı ölçüm geometrisinde yapay veriler elde edilmiştir. Yapay verilerin ters çözümü sonucunda kavramsal modelin daha doğru bulunup bulunamayacağı model çözünürlük (Model Resolution) kesitleri ile değerlendirilmiş ve saha çalışmalarında DAÖ verisinin hangi geometride ölçüleceğine karar verilmiştir.

Saha çalışmasında, iki tanesi var olan sondajların üzerinde olmak üzere toplam altı doğrultu boyunca DAÖ verileri ölçülmüş ve ters çözümleri yapılmıştır. Böylece sondaj litolojisi bilinen iki özdirenç modeli ile karşılaştırmalı olarak tatil köyüne en yakın ve en verimli gerçekleştirilecek sondaj yeri önerilmiştir. Önerilen

sondaj litolojisi sonuçları ile özdirenç kesitleri karşılaştırılmıştır. Böylece yeraltı suyu aramalarında başarılı bir sondaj önerisi için DAÖ yönteminde izlenecek yollar tartışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

DAÖ yöntemi, genel tanım olarak yer altına A ve B noktalarından bir I akımı uygulandığında, M ve N noktalarında oluşan gerilimin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. DAÖ verilerinin 2-B yorumu için, genellikle bir hat boyunca farklı elektrot dizilimleri ile (Wenner, Schlumberger, Dipole-Dipole, Pole-Dipole vb.), sondaj-profil ölçü alım tekniği ile ölçülmekte ve 2-B ters çözüm algoritmaları ile yeraltının düşey ve yanal yönde özdirenç değişimleri elde edilmektedir. Bu çalışmada, AGİ R8 marka çok kanallı özdirenç cihazı kullanılarak 6 doğrultu boyunca, 25 elektrot ve Pole-Dipole elektrot dizilimi ile DAÖ verileri ölçülmüştür. Pole-Dipole diziliminde akım elektrotlarından biri (AM) mesafesine göre sonsuz sayılabilecek bir mesafeye arazinin durumuna göre genellikle profil doğrultusuna dik olacak şekilde konumlandırılır (Şekil 1). Sağ yönlü (MNB) veya sol yönlü (AMN) olabilir. Sahada ölçülen verilerin her biri aletten tekrar okumalardan istatistiksel hesaplanan hata değerine göre sınıflandırılıp hata değeri yüksek olan veriler arazide tekrar edilmiş ve düzeltilen veriler ters çözümde kullanılmamıştır.



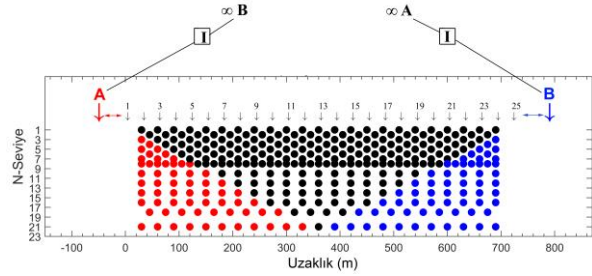
Şekil 1. Sol Yönlü Pole-Dipole Elektrot Dizilimi

Geleneksel 25 elektrot kullanılarak hesaplanan pole-dipol elektrot dizilimi ile elde edilen verilerin geometrileri Şekil 2'de siyah noktalarla verilmiştir. Bu veri ölçüm geometrisiyle elde edilecek veride ilk ve son elektrotların olduğu kısımların altında üçgen alanlar şeklinde bilgi eksikliği olmaktadır. Bu sorunun önüne geçebilmek için, ikinci veri geometrisinde, AMN elektrot diziliminde A elektrotunu 30'ar metre aralık ile -330 metreye kadar ve MNB elektrot diziliminde B elektrotunu 1050 metreye kadar uzatılarak, sırası ile geleneksel pole-dipol elektrot diziliminde bilgi olmayan kırmızı ve mavi ile verilmiş noktalardan bilgiler elde edilmeye çalışılmıştır.

2.1 Yapay veri Uygulaması

Yapay veri uygulamasında, mevcut sondaj ve jeolojik bilgiler temel alınarak araştırma sahasının kavramsal bir modeli oluşturulmuştur. Burada iki farklı ölçüm geometrisinden hangisinin bilinen model için daha iyi

sonuç vereceği araştırılmıştır. Kavramsal modelden önceki bölümde bahsi geçen geometrilerde modelleme yapılarak, yapay verileri elde edilmiştir. Yapay verilerin elde edilmesinde ve gerçek verilerin ters çözümünde Özyıldırım vd. (2020) tarafından geliştirilmiş modelleme ve ters çözüm algoritması kullanılmıştır.



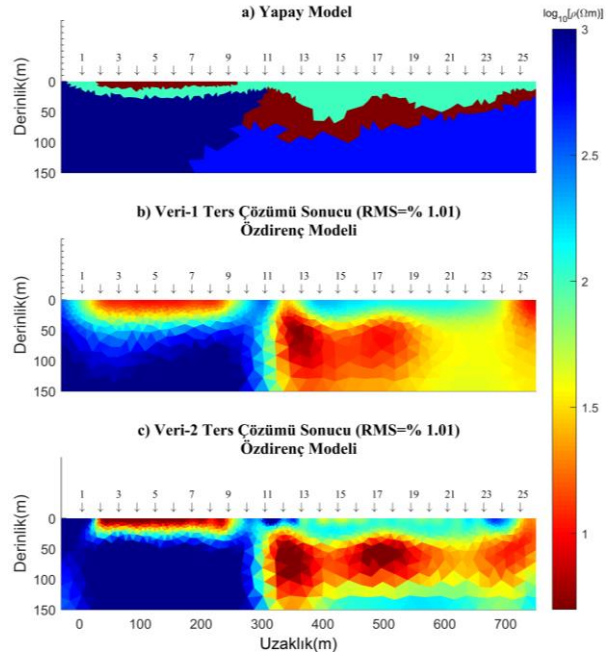
Şekil 2. Pole-dipol elektrot dizilimi ile farklı veri ölçüm geometrileri. (Siyah noktalar AMN veya MNB elektrot diziliminde 25 elektrot kullanılmıştır, kırmızı AMN elektrot diziliminde A elektrotu -330 metre uzatılmıştır, Mavi noktalar B elektrotu 25. Elektrottan itibaren 330 metre daha uzatılmıştır "1050 m").

Yapay verilerin oluşturulmasında kullanılan kavramsal model, Şekil 3a'da sunulmuştur. Modelde 3 birim vardır; yaklaşık 5 Ω m civarındaki öz dirençli değerleri filiş (kil silt) içeren birimleri, yaklaşık 100 Ω m civarındaki öz dirençli değerler alüvyon birimi ve 500-1000 Ω m öz direnç aralığı kireçtaşı birimleri temsil etmektedir. Model tepkisi, Özyıldırım vd. (2020) 'nin düz çözüm kısmı ile önceki bölümde bahsi geçen iki farklı ölçüm geometrisi ile hesaplanmıştır. İlk veri seti, çalışmada veri-1 olarak anılmakta ve 25 elektrotta AMN veya MNB dizilimi ile hesaplanmıştır. İkinci veri seti ise veri-2 olarak anılmakta sonsuzda olmayan elektrot 25 elektrodun dışında profilin başından ve sonundan ± 330 m daha uzatılarak hesaplanmıştır. Her iki veri setine %1 Gauss gürültüsü (Gaussian noise) eklenerek aynı parametre uzayında ters çözüm yapılmıştır. RMS (Root Mean Square) değeri %1 değerine ulaştığında (7 yinelemede ulaşılmıştır) algoritma durdurulmuştur. Ters çözümlerin sonucu elde edilen modeller, veri-1 ve veri-2 için sırasıyla Şekiller 3b ve 3c 'de sunulmuştur.

Öz direnç modellerinde veri-1'den elde edilen modelde, özellikle iletken yapıların altındaki yalıtkan birimlerin, veri-2'den elde edilen modele nazaran yapay modele daha az benzediği gözle ayırt edilebilmektedir. Veriden model ağındaki parametrelerin çözünürlük kalitesini gözlemlemek için, model çözünürlük matrisi (Model resolution matrix "R") kullanılmaktadır (Newman ve Alumbaugh 2000, Özyıldırım et al. 2017). R değeri izleyen şekilde hesaplanmaktadır (Menke 1989).

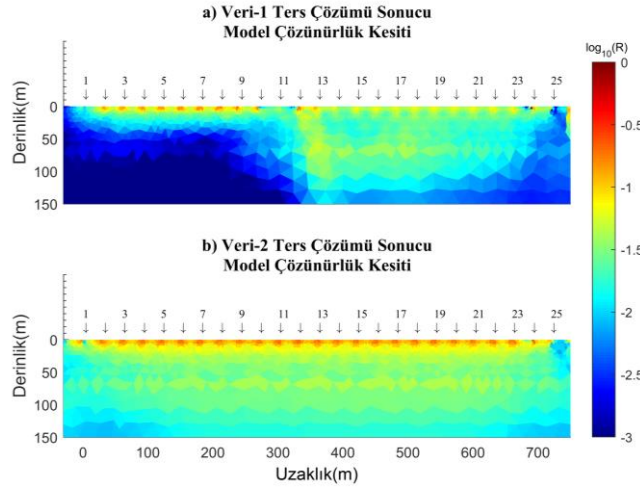
$$R = (A^T W_d^T W_d A + \alpha C^T C)^{-1} \times A^T W_d^T W_d A \quad (1)$$

Burada **A** ters çözümde, son yinelemede hesaplanan Kısmi türevler dizeyi (Jacobian Matrix), **W_d**, Veri ağırlık dizeyi, **C**, Yuvarlatma Dizeyi (Smoothing matrix) ve α düzleştirme (regularization) parametresidir.

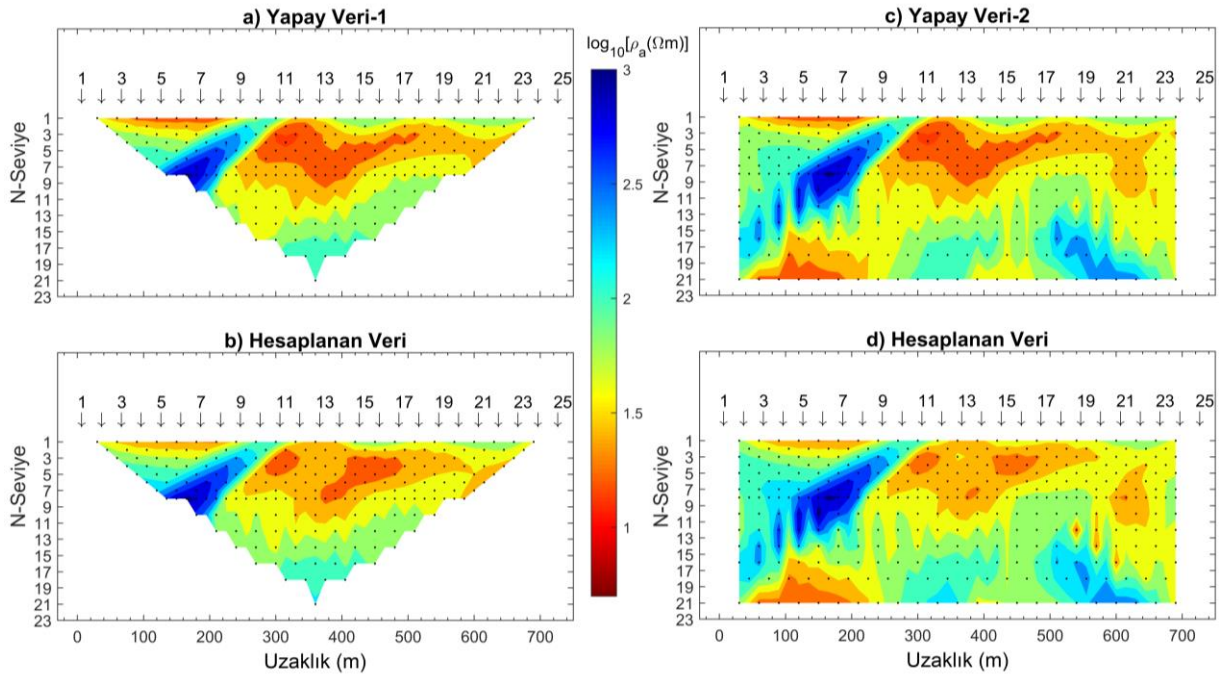


Şekil 3. a) Kavramsal model, **b)** Veri-1 ters çözüm sonucu ve **c)** Veri-2 ters çözüm sonucu, elde edilen öz direnç modelleri.

R matrisinin köşegen elemanları, 2B model kesiti gibi gösterilerek ters çözüm sonucu elde edilen modelin, hangi kısımlarının iyi çözüldüğü hakkında yorumlamalar yapılmaktadır. Şekiller 4a ve 4b'de sırası ile Şekiller 3b ve 3c'de elde edilen öz direnç modellerinin model çözünürlük kesiti sunulmaktadır. En iyi çözüm, model çözünürlük matrisinin köşegen elemanları 1, kalan elemanları sıfır olduğunda bulunmaktadır (Candansayar ve Tezkan 2008, Özyıldırım vd. 2017). Model çözünürlük kesitinde, matrisin köşegen elemanların 10 tabanında logaritması alınarak çizdirilmiştir. Çizilen $\log_{10}(R)$ değeri, -2'den küçük ise model parametresinin kötü çözüldüğünü, -2'den büyük ve 0'a ne kadar yaklaşırsa, model parametresinin o kadar iyi çözüldüğünü göstermektedir. Şekil 4a'da veri-1 'in ters çözümünde, Şekil 5a'da sunulan yapay verinin geometrisine bağlı olarak, ilk ve son elektrotların olduğu kısımlarda simetrik olarak veri olmadığı için orta üçgen alan haricinde kalan bölümlerin çözülemediği gözlemlenmektedir (Şekil 3b). Fakat Şekil 4b 'de, Şekil 5c'de sunulan veri ölçüm geometrisine bağlı olarak, model çözünürlük değerlerinin daha yüksek olduğu ve modelin çözülebildiği dikkat çekmektedir (Şekil 3c). Bu yüzden saha verileri ölçülürken, veri-2 ölçüm geometrisinde verilerin ölçülmesi planlanmıştır. Şekil 5'de yapay veriler ile ters çözüm sonucu hesaplanan veriler, iki veri seti arasındaki çakışmayı gözlemlemek amacı ile sunulmuştur.



Şekil 4. a) Veri-1 ters çözümü sonucu özdirenç modeli (Şekil 3b) ve b) Veri-2 ters çözüm sonucu özdirenç modeli (Şekil 3c) için model çözünürlük matrisi köşegen elemanları.



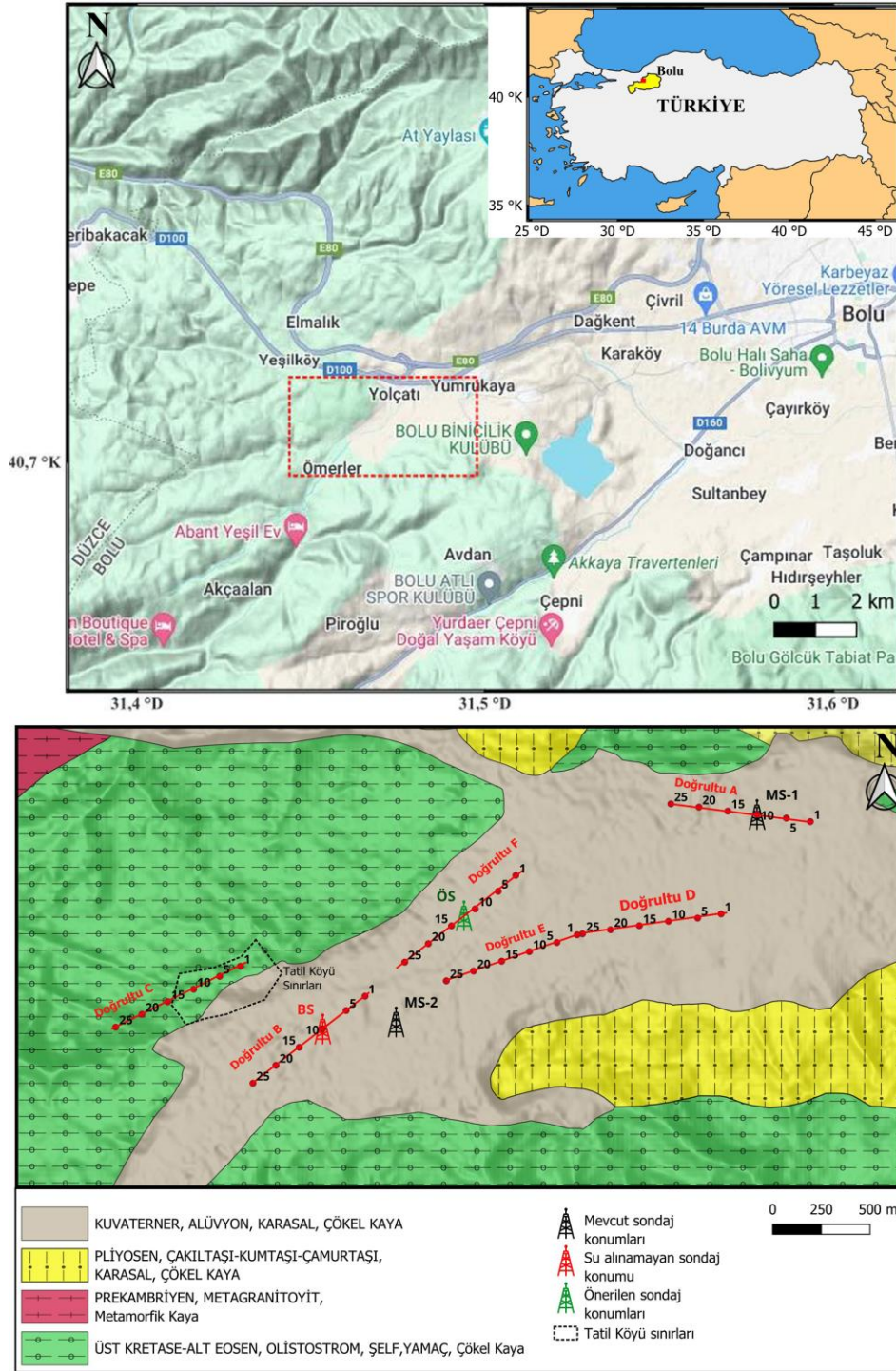
Şekil 5. Tematik modelin düz çözümü sonucu elde edilen a) Yapay veri-1 ve b) ters çözümünde hesaplanan görünür özdirenç verisi, c) Yapay veri-2 ve d) Ters çözüm sonucu hesaplanan görünür özdirenç verisi.

3. Bulgular

Çalışma sahası Bolu (Batı Karadeniz) şehir merkezinin yaklaşık 17 km kuzeybatısında ve 1:25.000 ölçekli G26-C2 paftasında yer almaktadır (Şekil 6a). Çalışma alanı ve yakın çevresinde ise genel olarak ilk kez Yılmaz vd. (1981) tarafından adlandırılan Abant Formasyonu'na ait kayalar ile Neojen yaşlı kırıntılı kayalar ve alüvyon yer almaktadır. Abant formasyonu Üst Kretase-Alt Eosen yaşlı bloklu konglomera, kumtaşı, silttaşı, marndan oluşur ve çalışma alanı içerisinde geniş mostralar verir. Formasyon olistostromal kesimlerden, düzgün filiş istifi özelliği gösteren düzeylerden, karasal-sığ deniz fasiyeslerindeki çökel paketlerinden ve karbonatlı kaya bölümlerinden oluşur (Yılmaz vd. 1981). Birimde granit, gabro, amfibolit,

serpantinit, volkanik ve metamorfik kaya blokları da gözlenir (Yıldırım 2008). Pliyosen yaşlı genç çökeller ve alüvyon bu birimi üzerlemektedir (Şekil 6b).

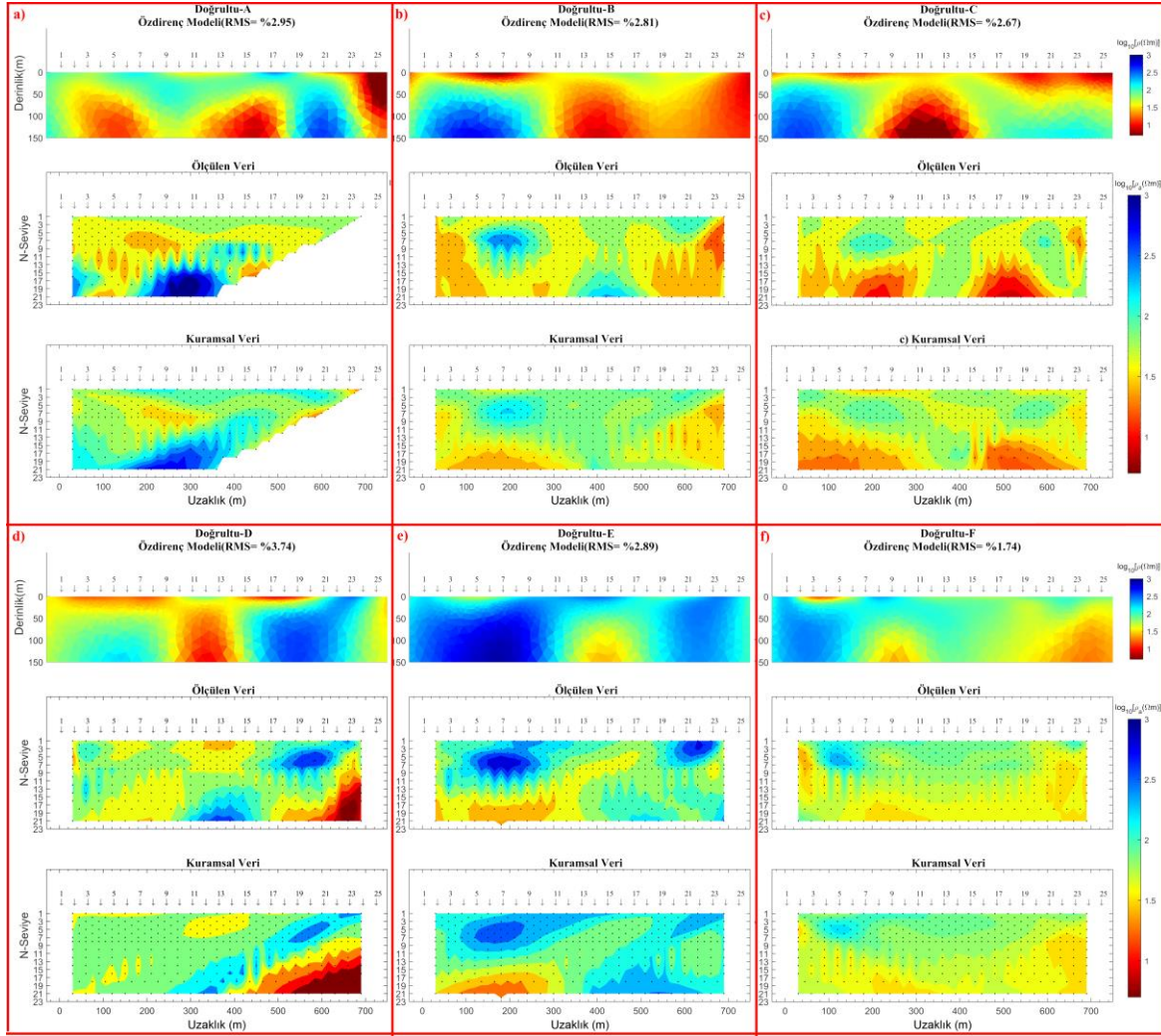
Abant Formasyonu genel anlamda filiş özelliğinde olup, içerdiği kil-silt boyutlu malzemeler nedeniyle hidrojeolojik açıdan genel olarak "Geçirimsiz" özellikte olup, içerdiği kireçtaşı blokları ve kumtaşları boyut ve yapılarına bağlı olarak kısmen yer altı suyu içerebilir. Pliyosen çökel kayalar içerisindeki çakıltaşları ve kumtaşları (pekleşmemiş) nedeniyle yarı geçirimli özelliktedir. Alüvyon ise bölgedeki en önemli akifer olarak göze çarpmaktadır. Bölge genelinde yağış suları genel olarak yüzeysel akışa geçmekte, az bir kısmı ise alüvyon içerisinde yeraltı suyu olarak depolanmaktadır.



Şekil 6. a) Çalışma alanı yer bulduru haritası ve b) inceleme alanının jeoloji haritası (1/25.000 ölçekli MTA jeoloji haritasından basitleştirilmiştir) üzerinde DAÖ verilerinin ölçüldüğü doğrultular

Ölçülen DAÖ verilerinin ters çözümü gerçekleştirilerek ölçülen ve kuramsal verilerin çakışması ile ters çözüm sonucu elde edilen özdirenç modelleri Şekil 7a-f'de sırası ile bütün doğrultular için sunulmuştur. Bütün doğrultularda en üstten başlayarak, ters çözüm sonucu elde edilen özdirenç kesitleri, ölçülen ve kuramsal veri sıralaması ile sunulmuştur. Ters çözüm sonuçlarının güvenilirliği için bir ölçüt olarak ölçülen ve model tepkisi olarak hesaplanan kuramsal verinin uyumuna bakılır. Bütün doğrultular da ölçülen ve kuramsal veri arasında

RMS karekök (Root Mean Squares- RMS) hata değeri %4'ün altındadır. Bu durum iki veri kümesi çakışmalarının yeterli olduğunu göstermektedir. Ters çözüm model ağı, program tarafından elektrot dizilim ve profil uzunluğuna göre optimum ve otomatik olarak ayarlanmıştır (Bölüm 2 'de çözünürlük analizi yapılan model ağı ile aynı). Genel olarak her iki istasyon arası en az dört düzensiz üçgene bölünmüştür. Ters çözümde, başlangıç modeli olarak, ölçülen verilerin aritmetik ortalaması, homojen olarak alınmıştır.



Şekil 7. a-f) Sırası ile, doğrultu A-F boyunca, ölçülen veriler, ters çözüm sonucu elde edilen kuramsal veri ve özdirenç modelleri.

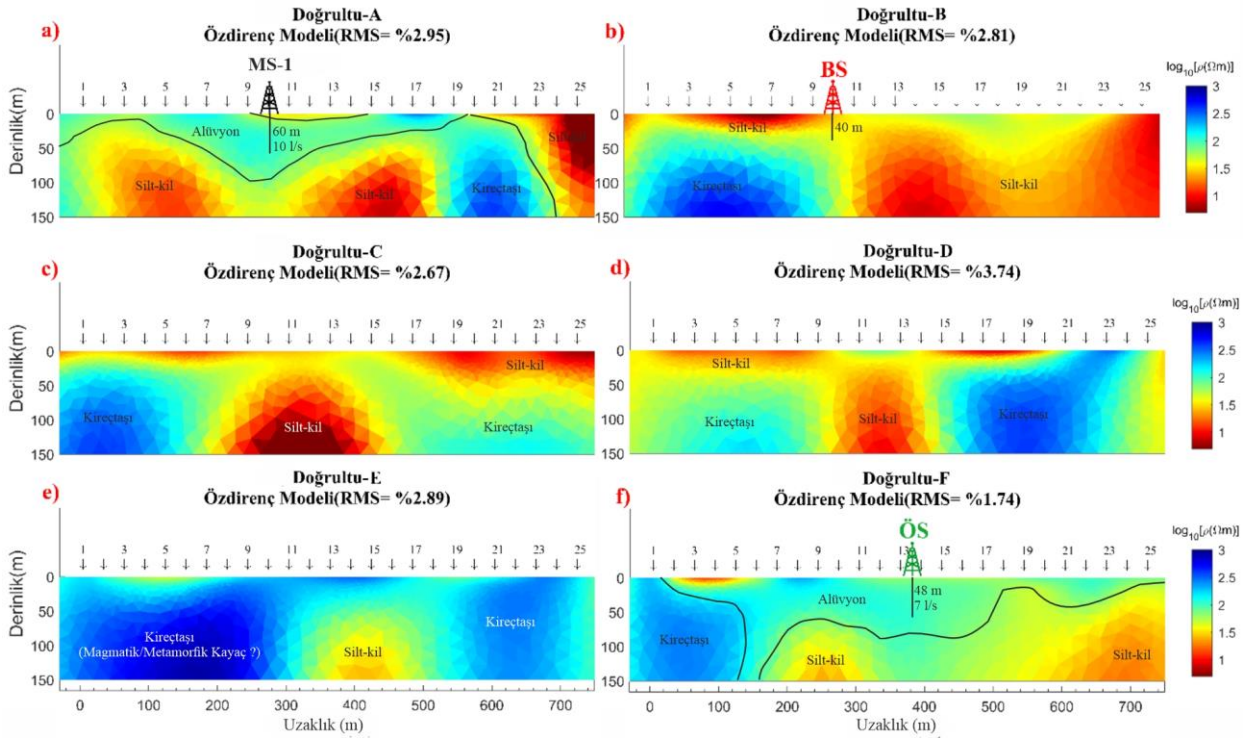
4. Yorum ve Tartışma

Şekiller 9.a ve 9.b 'de sırası ile A ve B doğrultusu özdirenç modelleri sunulmuştur. Her iki doğrultu üzerinde halihazırda önceden yapılmış soğuk su sondajları mevcuttur. Bunlardan birincisi, yaklaşık 60 metre derinliklerden 10 l/s su alınabilen Abant İzzet Baysal Üniversitesine ait bir sondaj kuyusudur (MS-1), kuyu litolojisi Şekil 8a'da sunulmuştur. B doğrultu üzerinde ise, çalışmaya konu olan, tatil köyünün su ihtiyacını karşılama amaçlı açılan fakat su alınamayan bir sondaj yapılmıştır. Şekil 9b'de kuyu litolojisi verilmiştir. Her iki doğrultuda yapılan ölçümler ve elde edilen özdirenç modelleri, yorumlanacak diğer verilere referans olması açısından önemlidir.

YAS araştırmalarında genellikle tatlı suyun iletkenliğinden yararlanılmaktadır. Gözeneklerinde yeraltı suyu içeren kayalar yan kayalara göre daha iletken olabilmektedir. Fakat bu bölgede yüzeyde veya göreceli sığ kesimlerde istiflenen filiş, akifer özelliği gösteren alüvyonlardan daha iletken ($\rho < 20 \Omega m$). Filişin geçirimsiz özelliği hem suyu vermemektedir hem de geçirimli alt tabakalara

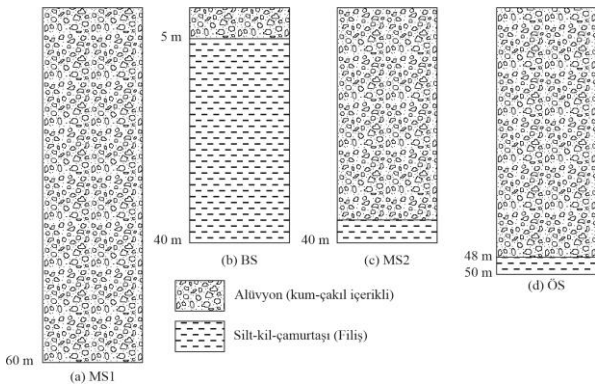
ilerlemesini önlemektedir. Dolayısıyla yüzeyde gözlenen filişlerin olduğu kısımlarda derinlere su iletilmeyecektir. Ayrıca derinlerdeki aşırı yalıtkan kısımlarda da suyun varlığı tartışmalıdır. Bu özellikler göz önünde bulundurulduğunda filişe göre daha yalıtkan, ama yüzey ile bağlantısı olan alüvyon tabakanın en derin olduğu ve senkinal şeklinde altta filişlerle geçirilmeyen en derine uzanan alüvyon tabaka aranmalıdır. A doğrultusu için verilen model üzerine birimlerin ismi ve sondaj yeri gösterilmiştir. Filiş istifleri, içerisinde barındırdığı kil mineralleri nedeni ile düşük özdirenç ($\rho < 20 \Omega m$) ile tanımlanır.

Üzerindeki işaretlenen çöküntü şeklinde dolmuş, akifer görevi gören alüvyon tabakalar ise daha yüksek özdirençli ($100 \Omega m > \rho > 50 \Omega m$) birimlerdir (Şekil 9a). Bir diğer referans modeli, B doğrultusu için elde edilen model üzerinde birimlerim isimleri ve yapılan sondaj konumu işaretlenmiştir (Şekil 9b). Özdirenç modelinde, yüzeye yakın kısımlar filiş istifi ile kaplıdır ve iletken ($\rho < 20 \Omega m$) bir yapıdadır. Bu yüzden, alt tabakalarda su sızıntısının olmadığı yorumlanmıştır.



Şekil 9. a-f) Sırası ile, doğrultu A-F boyunca, ölçülen veriler, ters çözüm sonucu elde edilen kuramsal veri ve özdirenç modelleri.

Başarısız sondaj litolojisi (Şekil 8b) ve özdirenç modeli karşılaştırıldığında, silttaşı içeren filişten dolayı sonuca ulaşamadığı değerlendirilmiştir. Sahada mevcut olan bir diğer sondaj ise Şekil 6b'de konumu verilen, litolojisi Şekil 8c'de verilen sondajdır (MS-2). Sondaj, yaklaşık 25 yıl önce, tatil köyünün su ihtiyaçlarının karşılanması için yapılmıştır. Fakat şu anda ihtiyaçlar için yetersiz, debisi mevsimsel olarak değişmekte ve derinliği 35 metre ortalama ~ 2 l/s su alınabilmektedir.



Şekil 8. a) Mevcut sondaj-1 (MS-1), b) su alınamayan sondaj (BS), c) mevcut sondaj-2 (MS-2), d) önerilen sondaj, kuyu litolojileri.

C doğrultusunda ölçülen verilerden elde edilen özdirenç model üzerinde filiş birimi konumları işaretlenmiştir (Şekil 9c). C doğrultusunda ölçülen veriler, her ne kadar genel jeoloji bilgisi ve öncel jeoloji çalışmasına göre umutsuz görülsede, tatil köyü sınırları içerisinde su taşıma maliyetinin azaltılabileceği bir sondaj planı için ölçülmüştür. Jeoloji bilgisine uyumlu olarak Şekil 9c'de de

açıkça görüldüğü gibi modelin ilk 5-15 metresi silt ve kil içeren iletken filiş istifi bulunmaktadır.

Bu yüzden modelde akifer görevi görebilecek birimin olamayacağı şeklinde yorumlanmıştır. D Doğrultusu özdirenç modeli de yüzeyden itibaren çok iletken ($\rho < 20 \Omega m$) bir yapıda olup, genellikle yüzeyin yaklaşık tamamı filiş istifi ile kaplıdır. Bu nedenle alt tabakalarda akifer özelliği gösteren birim olmayabilir. Ayrıca 17-23. elektrotların olduğu kısımlarda derinlerde tabakanın tatlı su içermeyecek kadar yüksek özdirençli ($\rho > 100 \Omega m$) olması, jeolojik bilgiler göz önüne alındığında bu blokların su içermeyen kireçtaşı blokları olabileceği yorumuna ulaştırılmıştır. E doğrultusu özdirenç modeli yer yer orta iletken ($\sim 100 \Omega m$) ve genellikle yalıtkan ($\rho > 100 \Omega m$) özelliktedir. Model jeolojik olarak anlamlandırıldığında, su içermeyen kireçtaşı veya magmatik/metamorfik kökenli blokların olabileceği yorumlanmıştır. Modelde kireç taşlarının kırık ve çatlaklarından veya yüzeye yakın akifer özelliği olan alüvyonun bulunması söz konusu olabilir. Referans modeli dikkate alındığında, ikincil sondaj yeri önerisinde bulunulabilir. E doğrultusu özdirenç modeli, A doğrultusu özdirenç modeline en benzer fiziksel özellik göstermektedir. Özellikle 13. ve 14. elektrotların altında mevcut üniversite sondajının bulunduğu yer ile aynı özdirenç yapısını ($100 \Omega m > \rho > 50 \Omega m$) sunmaktadır. Bu yüzden burada $50 \pm 10 m$ yeni bir sondaj yeri önerilmiştir (ÖS). Yapılan sondaj sonucu kuyu litolojisi Şekil 8d 'de sunulmuştur. Sondajda ~ 48 metreye kadar alüvyon

tabaka kesilmiş olup, gerçekleştirilen sondajdan ~7 l/s debisinde tatlı su alınabilmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada doğru akım özdirenç yöntemi verilerinin 2B ters çözümü ile Bolu ili Abant Bölgesindeki bir tatil köyünde YAS araştırması sunulmuştur. Sahada yapılan ön jeoloji çalışmaları ve var olan kuyu litolojileri kullanılarak, sahanın kavramsal bir modeli oluşturulmuştur. Kavramsal model, farklı iki veri ölçüm geometrisi kullanılarak modellenmiş, daha sonra ters çözüm ile aynı özdirenç modelinin bulunup bulunamayacağı, model çözünürlük kesitleri kullanılarak sunulmuştur. Böylece sahada yöntemi uygulamadan önce bulunacak modellerin doğruluğunun sağlanması yapılmıştır.

Sahada bulunan önceden yapılmış iki sondaj yeri (bir tanesi mevcut su alınan, diğeri su alınamayan başarısız sondaj) üzerinde iki DAÖ doğrultusu seçilmiştir. Söz konusu doğrultularda ölçülen verilerin ters çözümü sonucu elde edilen özdirenç modelleri, çalışmada yeni bir sondaj önerisinde bulunmak için referans modeller olarak seçilmiştir. Böylece özdirenç modellerinin jeolojik olarak doğru anlamlandırılması ve yorumlanması sağlanmıştır. Daha sonra araştırmaya konu olan tatil köyünün ihtiyacına yönelik optimum bir yerde sondaj önerisinde bulunulmuştur. Önerilen sondaj yerinde sonucu başarı olarak nitelendirilecek yeterli miktarda yeraltı suyuna ulaşılmıştır.

Sonuç olarak, jeofizik araştırmalarda saha çalışmalarından önce, araştırma yöntemlerinin belirlenmesi için parametrelerin çözülebilirliğinin öncel olarak araştırılması, çalışmanın başarısı için en önemli faktörlerden biridir. Hedeflere yönelik, sondaj başarısını etkileyen diğer bir önemli faktör ise, sahanın jeolojisinin iyi kavranması ve sahada bulunan fiziksel sondaj bilgilerinin referans olarak kullanılmasıdır.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Fikir Sahibi, Saha Çalışması, Metodoloji, Yazma – Orijinal Taslak Görselleştirme

Yazar 2: Saha Çalışması, Araştırma, Yazma – Orijinal Taslak Görselleştirme

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

Teşekkür

Saha çalışmaları ve lojistik hizmetlerinde verdiği desteklerden dolayı, Ercan şirketler topluluğu işletme müdürü Tuğrul Vedat AKYÜREK 'e teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

- Buselli, G., and Lu, K., 2001. Groundwater contamination monitoring with multichannel electrical and electromagnetic methods. *Journal of Applied Geophysics*, 48(1), 11-23.
[https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(01\)00055-6](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(01)00055-6)
- Bozkurt, A. ve Kurtuluş, C., 2016. Başiskele-Kocaeli civarında yer altı suyu akiferlerinin tespiti jeofizik ve sondaj araştırmaları. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 9(2), 1-9.
- Candansayar, M.E. and Tezkan, B., 2008. Two-dimensional joint inversion of radiomagnetotelluric and direct current resistivity data. *Geophysical Prospecting*, 56, 737-749.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.2008.00695.x>
- Coker, J.O., 2012. Vertical electrical sounding (VES) methods to delineate potential groundwater aquifers in Akobo area, Ibadan, South-western, Nigeria. *Journal of Geology and Mining Research*, 4(2), 35-42.
<https://doi.org/10.5897/JGMR11.014>
- Ertekin, C. and Ulugergerli, E.U., 2022. Geoelectrical survey over perched aquifers in the northern part of Upper Sakarya River Basin, Türkiye. *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 10(4), 335-352.
<https://doi.org/10.19637/j.cnki.2305-7068.2022.04.003>
- Fitterman, D.V. and Stewart, M.T., 1986. Transient electromagnetic sounding for groundwater. *Geophysics*, 51(4), 995-1005.
<https://doi.org/10.1190/1.1442158>
- Gelişli, K. ve Babacan, A.E., 2021. Yeraltı Suyu Aramalarında Jeofizik Özdirenç Uygulamaları. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(2), 535-543.
<https://doi.org/10.21923/jesd.825063>
- Gündoğdu, N.Y. and Candansayar, M.E., 2018. Three-dimensional regularized inversion of DC resistivity data with different stabilizing functionals. *Geophysics*, 83(6), E399-E407.
<https://doi.org/10.1190/geo2017-0558.1>
- Hamzah, U., Samsudin, A.R. and Malim, E.P., 2007. Groundwater investigation in Kuala Selangor using vertical electrical sounding (VES) surveys. *Environmental geology*, 51, 1349-1359.
<https://doi.org/10.1007/s00254-006-0433-8>
- Hautot, S., Tarits, P., Perrier, F., Tarits, C. and Trique, M., 2002. Groundwater electromagnetic imaging in complex geological and topographical regions: A case study of a tectonic boundary in the French Alps. *Geophysics*, 67(4), 1048-1060.
<https://doi.org/10.1190/1.1500365>

- Hazell, J.R.T., Cratchley, C.R. and Preston, A.M., 1988. The Location of Aquifers in Crystalline Rocks and Alluvium in Northern Nigeria using Combined Electromagnetic and Resistivity Techniques. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, **21**, 159-175.
<https://doi.org/10.1144/GSL.QJEG.1988.021.02.05>
- Loke, M.H., Acworth, I. and Dahlin, T., 2003. A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys. *Exploration Geophysics*, **34**(3), 182-187.
<https://doi.org/10.1071/EG03182>
- Manu, E., Agyekum, W.A., Duah, A.A., Tagoe, R. and Preko, K. 2019. Application of vertical electrical sounding for groundwater exploration of Cape coast municipality in the central region of Ghana. *Arabian Journal of Geosciences*, **12**, 1-11.
<https://doi.org/10.1007/s12517-019-4374-4>
- Menke, W., 1989. Geophysical data analysis: Discrete inverse theory: Academic Press.
- Nazifi, H. M. and Gülen, L., 2019. Elektromanyetik ve düşey elektrik sondaj metodu kullanılarak yeraltı suyu araştırması. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, **158**, 333-350.
<https://dx.doi.org/10.19111/bulletinofmre.451557>
- Newman, G.A. and Alumbaugh, D.L., 2000. Three-dimensional magnetotelluric inversion using non-linear conjugate gradients. *Geophysical journal international*, **140**(2), 410-424.
<https://10.1046/j.1365-246x.2000.00007.x>
- Özyıldırım, Ö., Candansayar, M.E., Demirci, İ. and Tezkan, B., 2017. Two-dimensional inversion of magnetotelluric/radiomagnetotelluric data by using unstructured mesh. *Geophysics*, **82**(4), E197-E210.
<https://doi.org/10.1190/geo2016-0378.1>
- Özyıldırım, Ö., Demirci, İ., Gündoğdu, N.Y. and Candansayar, M.E., 2020. Two-dimensional joint inversion of direct current resistivity and radiomagnetotelluric data based on unstructured mesh. *Journal of Applied Geophysics*, **172**, 103885.
<https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2019.103885>
- Riwayat, A.I., Nazri, M.A.A. and Abidin, M.H.Z., 2018. April). Application of electrical resistivity method (ERM) in groundwater exploration. *Journal of Physics: Conference Series*, **995**(1), 012094.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/995/1/012094>
- Siemon, B., Christiansen, A.V. and Auken, E., 2009. A review of helicopter-borne electromagnetic methods for groundwater exploration. *Near Surface Geophysics*, **7**(5-6), 629-646.
<https://doi.org/10.3997/1873-0604.2009043>
- Wurmstich, B. and Morgan, F.D. 1994. Similarities in modeling groundwater flow and DC resistivity. In SEG Technical Program Expanded Abstracts 1994 (pp. 578-579). Society of Exploration Geophysicists.
- Yeşil, B., 2014. Küçük Melen Çayı yatağı civarında yeraltı suyu akiferlerinin tespitinde düşey elektrik sondaj verilerinin kullanılması: Düzce örneği. *Teknik Bilimler Dergisi*, **4**(1), 1-12.
- Yıldırım, C., 2008. Almacık bloku ve yakın çevresinin morfolotektoniği. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 266.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Gözübol, A. M. ve Yiğitbaş, E., 1981. Abant (Bolu)-Dokurcun (Sakarya) arasındaki Kuzey Anadolu Fay Zonunun kuzey ve güneyinde kalan tektonik birliklerin jeolojik evrimi. *İstanbul Yerbilimleri*, **2**, 239-261.
- Yılmaz, S. ve Yıldırım, E. 2021. Emirdağ-Karaağaç yeraltı suyu potansiyelinin elektrik öz direnç yöntemler ile araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, **9**(4), 1267-1275.
<https://doi.org/10.21923/jesd.929474>
- Yüksel, F. A. and Hoşkan, N., 2019. Ergene Havzası, Çorlu formasyonu, Sarılar Köyü çevresinde akifer oluşturacak stratigrafik kapanların düşey elektrik sondajları ile görüntülenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **25**(3), 364-372.
<https://doi.org/10.5505/pajes.2018.70457>
- TÜİK, 2023. Su ve Atıksu İstatistikleri, Sayı: 49607

İnternet Kaynakları

- 1- Su Fakirliği,
<https://services.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf;jsessionid=dCK1nYJMtKwV6qeWh2DmyvdY?dergiKodu=4&ilt=41&sayi=616&sayfa=56&yaziid=26253,20.04.2024>